

【特許請求の範囲】

【請求項1】 予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に分類カテゴリを付与することによって欠陥の種類を分類する分類過程と、

該分類過程において分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリが付与された場合、該新たな分類カテゴリと該新たな分類カテゴリが付与された分類対象欠陥画像とを元に前記学習過程で取得された教示用データを更新する更新過程とを有することを特徴とする特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項2】 請求項1記載の更新過程において、教示用データの更新は追記型であることを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項3】 予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類する分類過程と、

該分類過程において分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する分類対象欠陥画像を提示する提示過程とを有することを特徴とする特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項4】 請求項3記載の分類過程において、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報を格納することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項5】 請求項1または3記載の分類過程において、既知の分類カテゴリが付与された分類対象欠陥に関する情報を表示手段に表示することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項6】 請求項3記載の提示過程において、提示された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリを付与することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項7】 請求項3記載の提示過程において、提示された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像に対して前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を提示することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項8】 予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥

の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索し、該検索された類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリ元に前記分類対象欠陥画像に対する分類カテゴリを付与して欠陥の種類を分類する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項9】 予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索して該検索された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリとを提示し、該提示された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリとを元に前記分類対象欠陥画像に対する分類カテゴリを付与して欠陥の種類を分類する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項10】 被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、

複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正することを特徴とする教示用データ作成方法。

【請求項11】 被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、

複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離が所望のしきい値を満足するか否かを調べることによって教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正することを特徴とする教示用データ作成方法。

【請求項 12】複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類し、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報として格納する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項 13】複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正する学習過程と、

被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における分類対象欠陥画像についての分類対象点座標と前記学習過程で取得された教示用データに基づく多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標との間のユークリッド距離を元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類し、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報として格納する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項 14】請求項 12 または 13 記載の欠陥の分類方法において、分類過程で得られる未知欠陥に関する情報を学習過程にフィードバックして教示用データを更新することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項 15】請求項 1 または 3 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 または 13 記載の分類過程において、分類された欠陥の種類毎の欠陥の個数を出力することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項 16】請求項 1 または 3 または 8 または 9 または 10 または 11 または 12 または 13 記載の欠陥の分類方法において、更に、前記分類過程で分類された欠陥の種類に基づいて欠陥の発生原因を推定する欠陥の発生

原因推定過程を有することを特徴とする欠陥の分類方法。

【請求項 17】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類する計算手段とを備えた分類部と、

該分類部の計算手段において分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリが付与された場合、該新たな分類カテゴリと該新たな分類カテゴリが付与された分類対象欠陥画像とを元に前記学習部で取得される教示用データを更新する更新手段とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 18】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段において分類不可能と判断された場合、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報を提示する提示手段とを備えた分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 19】請求項 18 記載の分類部において、前記計算手段は、分類不可能と判断された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像についての参照リストを作成するように構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 20】請求項 18 記載の分類部において、前記計算手段が分類可能と判断された場合、既知の分類カテゴリが付与された分類対象欠陥に関する情報を表示する表示手段を備えたことを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 21】請求項 18 記載の分類部において、前記提示手段で提示された分類対象画像に対しその分類カテゴリを入力する手段を備えたことを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 2 2】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索する計算手段と、該計算手段で検索された類似度の高い教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリを提示する提示手段とを備え、前記分類対象欠陥画像に対する欠陥の種類を分類するように構成した分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 2 3】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索する計算手段と、該計算手段で検索された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与された欠陥の種類に対応するカテゴリを提示する提示手段とを備え、前記分類対象欠陥画像に対する欠陥の種類を分類するように構成した分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 2 4】請求項 2 2 または 2 3 記載の欠陥の分類装置において、前記分類部で分類対象欠陥画像に対して教示用データと異なる分類カテゴリを付与した際、前記学習部にフィードバックして教示用データを更新するように構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 2 5】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断する計算手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データ

を取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段によって分類可能と判断されたとき、前記分類対象欠陥画像に対して付与された既知の分類カテゴリによって分類された欠陥の種類に関する情報と、分類不可能と判断されたとき、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報とを格納する記憶手段とを備えて構成する分類部とから構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【請求項 2 6】予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断する計算手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、

被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における分類対象欠陥画像についての分類対象点座標と前記学習部の記憶手段に格納された教示用データに基づく多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標との間のユークリッド距離を算出し、該算出された分類対象点座標と教示点座標との間のユークリッド距離を元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段によって分類可能と判断されたとき、前記分類対象欠陥画像に対して付与された既知の分類カテゴリによって分類された欠陥の種類に関する情報と、分類不可能と判断されたとき、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報とを格納する記憶手段とを備えて構成する分類部とから構成することを特徴とする欠陥の分類装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像に含まれる内容に基づき画像を分類する方法及びその装置に関するもので、特に半導体製造プロセスにおける欠陥のレビューを効率的に行なうのに好適な欠陥画像の分類方法および装置並びに教示用データ作成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば、半導体ウエハパターンの欠陥属性をその画像により分類する方法としては、特開平 8-21803 号公報に記載されているようにニュー

ラルネットワークを用いた手法が知られている。この方式では、まず欠陥属性ごとに規範となる「教示用画像データ」とよばれる画像データを用意し、これを用いてニューラルネットワークの学習を実行する。学習は、入力した教示用画像とニューラルネットワークの出力である分類結果の不一致状態を表す誤差値がある一定の値以下に収束するまで、多数回教示用画像を入力し得られた誤差値をニューラルネットワークの重み係数にある手順に従って還元するという手続きを繰り返すことにより実行される。学習の結果得られたニューラルネットワークの重み係数データは学習データとして保存される。分類実行時には、この学習データを用いて、入力された欠陥画像の欠陥属性を分類する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術の分類方式を用いて、半導体ウエハの製造過程における半導体ウエハパターンの欠陥を分類した場合、学習が分類実行の前に行われているため、教示用画像データをいかに吟味して選定してもその学習時に得られた欠陥属性しか学習データに記録できない。このため、分類実行中に起きる半導体ウエハ製造プロセスの変動に起因して、ある欠陥属性がユーザの定義する属性は同一であっても、欠陥の形状、パターンが学習時と異なってくる場合、ユーザが指示する属性へ分類するようには追従することができない。また、新たに得られた欠陥画像を教師画像データに含め再学習を実行した場合、学習データの変更により従来の分類性能が保証されない。一方で、ニューラルネットワークには学習時に提示されていない入力に対しても、学習時に得られたパターンとの類似性に照らして属性を認識し分類を実行できる汎化能力を備えている。しかしながら、この汎化能力は前述のプロセスの変動に追従するには十分ではなく、また逆にプロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を学習時に獲得した既知の欠陥属性に分類してしまい、プロセスの新たな問題点を抽出するために重要な手がかりとなる未知欠陥を見逃す危険性を持っているなどの課題があった。

【0004】本発明の目的は、上記課題を解決すべく、分類実行中に起こる半導体ウエハ等の製造プロセスの変動により生じる欠陥分類属性と欠陥画像との対応の変化に追従できるようにした半導体ウエハ等上に発生する欠陥の分類方法およびその装置並びに教示用データ作成方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を既に学習した欠陥属性から分別して、ユーザに新規の欠陥属性の発生を通達可能にした欠陥の分類方法およびその装置並びに教示用データ作成方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠

陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に分類カテゴリを付与することによって欠陥の種類を分類する分類過程と、該分類過程において分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリが付与された場合、該新たな分類カテゴリと該新たな分類カテゴリが付与された分類対象欠陥画像とを元に前記学習過程で取得された教示用データを更新する更新過程とを有することを特徴とする特徴とする欠陥の分類方法である。また、本発明は、前記欠陥の分類方法の更新過程において、教示用データの更新は追記型であることを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類する分類過程と、該分類過程において分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する分類対象欠陥画像を提示する提示過程とを有することを特徴とする特徴とする欠陥の分類方法である。

【0006】また、本発明は、前記欠陥の分類方法の分類過程において、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報を格納することを特徴とする。

【0007】また、本発明は、前記欠陥の分類方法の分類過程において、既知の分類カテゴリが付与された分類対象欠陥に関する情報を表示手段に表示することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類方法の提示過程において、提示された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリを付与することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類方法の提示過程において、提示された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像に対して前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を提示することを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索し、該検索された類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリ元に前記分類対象欠陥画像に対する分類カテゴリを

付与して欠陥の種類を分類する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法である。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥画像に対して、欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することによって複数の教示用欠陥画像と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを学習して取得する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索して該検索された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリとを提示し、該提示された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与されたカテゴリとを元に前記分類対象欠陥画像に対する分類カテゴリを付与して欠陥の種類を分類する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法である。

【0008】また、本発明は、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正することを特徴とする。また、本発明は、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像を元に欠陥の種類を分類するための教示用データ作成方法であって、複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離が所望のしきい値を満足するか否かを調べることによって教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正することを特徴とする。

【0009】また、本発明は、複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して、前記学習過程で取得された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記

分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類し、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報として格納する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法である。また、本発明は、複数の教示用欠陥画像に対して欠陥の種類に対応するカテゴリを付与することにより教示用データを作成し、前記教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断し、該診断によって修正する必要がある場合には前記教示用データを修正する学習過程と、被検査対象物を撮像して得られた分類対象欠陥画像に対して複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における分類対象欠陥画像についての分類対象点座標と前記学習過程で取得された教示用データに基づく多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標との間のユークリッド距離を元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断し、分類可能な場合には、前記分類対象欠陥画像に対して既知の分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類し、分類不可能な場合には、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報として格納する分類過程とを有することを特徴とする欠陥の分類方法である。

【0010】また、本発明は、前記欠陥の分類方法において、分類過程で得られる未知欠陥に関する情報を学習過程にフィードバックして教示用データを更新することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類方法の分類過程において、分類された欠陥の種類毎の欠陥の個数を出力することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類方法において、更に、前記分類過程で分類された欠陥の種類に基づいて欠陥の発生原因を推定する欠陥の発生原因推定過程を有することを特徴とする。

【0011】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に分類カテゴリを付与することによって前記欠陥の種類を分類する計算手段とを備えた分類部と、該分類部の計算手段において分類対象欠陥画像に対して新たな分類カテゴリが付与された場合、該新たな分類カテゴリと該新たな分類カテゴリが付与された分類対象欠陥画像と

を元に前記学習部で取得される教示用データを更新する更新手段とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段において分類不可能と判断された場合、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報を提示する提示手段とを備えた分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。

【0012】また、本発明は、前記欠陥の分類装置の分類部において、前記計算手段は、分類不可能と判断された分類未知欠陥の分類対象欠陥画像についての参照リストを作成するように構成することを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類装置の分類部において、前記計算手段が分類可能と判断された場合、既知の分類カテゴリが付与された分類対象欠陥に関する情報を表示する表示手段を備えたことを特徴とする。また、本発明は、前記欠陥の分類装置の分類部において、前記提示手段で提示された分類対象画像に対しその分類カテゴリを入力する手段を備えたことを特徴とする。

【0013】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索する計算手段と、該計算手段で検索された類似度の高い教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリを提示する提示手段とを備え、前記分類対象欠陥画像に対する欠陥の種類を分類するように構成した分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像に対して付与された欠陥の種類に対応するカテゴリと前記複数の教

示用欠陥とを対応付けして表示する表示手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データから類似度の高い教示用欠陥画像を検索する計算手段と、該計算手段で検索された類似度の高い教示用欠陥画像と該類似度の高い教示用欠陥画像に付与された欠陥の種類に対応するカテゴリを提示する提示手段とを備え、前記分類対象欠陥画像に対する欠陥の種類を分類するように構成した分類部とで構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。

【0014】また、本発明は、前記欠陥の分類装置において、前記分類部で分類対象欠陥画像に対して教示用データと異なる分類カテゴリを付与した際、前記学習部にフィードバックして教示用データを更新するように構成することを特徴とする。また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断する計算手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された分類対象欠陥画像に対して、前記学習部の記憶手段に格納された教示用データを元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段によって分類可能と判断されたとき、前記分類対象欠陥画像に対して付与された既知の分類カテゴリによって分類された欠陥の種類に関する情報と、分類不可能と判断されたとき、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報とを格納する記憶手段とを備えて構成する分類部とから構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。

【0015】また、本発明は、予め複数の教示用欠陥を撮像して複数の教示用欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出された複数の教示用欠陥画像の各々について複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標の間のユークリッド距離に基づいて教示用欠陥画像とカテゴリとの対応からなる教示用データを診断する計算手段とを備え、複数の教示用欠陥と欠陥の種類に対応するカテゴリとの対応関係を示す教示用データを取得して記憶手段に格納する学習部と、被検査対象物を撮像して分類対象欠陥画像を検出する欠陥画像検出手段と、該欠陥画像検出手段で検出され

た分類対象欠陥画像に対して複数の特徴量を算出し、該算出された多次元の特徴量ベクトル空間における分類対象欠陥画像についての分類対象点座標と前記学習部の記憶手段に格納された教示用データに基づく多次元の特徴量ベクトル空間における各教示用欠陥画像についての教示点座標との間のユークリッド距離を算出し、該算出された分類対象点座標と教示点座標との間のユークリッド距離を元に既知の分類カテゴリに分類可能か否かを判断する計算手段と、該計算手段によって分類可能と判断されたとき、前記分類対象欠陥画像に対して付与された既知の分類カテゴリによって分類された欠陥の種類に関する情報と、分類不可能と判断されたとき、分類不可能な分類未知欠陥に関する情報とを格納する記憶手段とを備えて構成する分類部とから構成することを特徴とする欠陥の分類装置である。

【0016】また、本発明は、画像データの特徴を抽出するために予め設定した複数の特徴量（基準特徴量）、または複数の教示用画像セットから抽出される複数の特徴量（基準特徴量）を用いて、この基準特徴量により形成される多次元の特徴量ベクトル空間を用い、教示用欠陥画像を基準特徴量により特徴量ベクトル空間の1点に教示点座標として対応付け、同様にして複数の教示用欠陥画像を特徴量ベクトル空間に教示点座標として記録し、この教示点座標は特徴量ベクトル空間内の位置情報を持つと同時に、それに対応する画像データが属する欠陥分類属性（分類カテゴリ）も保持する学習過程と、分類対象として入力された分類対象欠陥画像も同様にして基準特徴量により特徴量ベクトル空間に分類対象点（分類対象画像により生成された点）として対応付けし、次に、分類対象点の最近傍にある教示点を探索し、その教示点の保持する欠陥分類属性（分類カテゴリ）を分類対象の欠陥属性とする分類過程とを有する。但し、分類対象点と探索された教示点の関係が予め定められた距離測度に照らし合わせて近傍と判定されない場合は、該分類対象点は属性不明、すなわち未知欠陥として分類する。未知欠陥に対し欠陥分類属性が作業員により提示された場合は、この未知欠陥に対し提示された欠陥分類属性を付す。更に、この分類対象点を学習データとして教示点に追加登録することにより、分類作業に並行して学習も実行可能となる。これにより、半導体ウエハ製造プロセスの変動により生じる欠陥分類属性と欠陥画像の対応の変化に追従可能であり、かつ、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を既に学習した欠陥属性から分別して、ユーザに新規の欠陥属性の発生を達達可能にすることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について図面を用いて説明する。図1は、本発明に係る欠陥分類方法およびその装置が半導体製造プロセスにおいて果たす役割を説明するための図である。半導体製造プロセスは、

数百ものプロセス1～nを経て製造され、完成までに約100日もの期間を要する場合がある。しかし、製品の良否が判明するのは、全てのプロセスが完了したブローブ検査1である。このため、歩留まりを向上するためには途中のプロセスの良否を推定する手段が必須である。このために、例えば、ある製造プロセス工程においてプロセス処理された基板（ウエハ）8に対して外観検査装置2による外観検査が行われ、配線パターンの外観異常からプロセスの良否を判定することが行われている。プロセスの異常が確認された場合、対策を実施する必要があるが、このための情報収集手段として欠陥分類装置3は重要な役割を果たしている。すなわち、外観検査の結果4からは欠陥の場所と数は把握できるが、その欠陥の性質などの情報は得られない。このため、欠陥分類装置3において、外観検査装置2から得られる欠陥の部位（欠陥の場所）での画像5を取り込み、これを基にして欠陥の種類（異物欠陥なのか、配線パターン欠陥なのか、傷欠陥なのか、その他の欠陥なのか）を分類し、品質管理システム7においてこの分類された情報に基づいて不良モード別の発生頻度6を表示手段を用いて表示させることにより、作業員が対策候補を絞り込み過程9aにおいて対策候補を絞り込むことができる。ところで、製造プロセス工程としては、各種成膜工程、レジスト塗布工程、露光・現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程、および絶縁膜の表面を化学的、機械的に研磨して平坦化する工程などから構成され、様々なプロセス処理装置が設置された製造ラインによって構成されることになる。従って、様々な種類（カテゴリ）の欠陥を発生する様々なプロセス処理装置が存在することになる。

【0018】品質管理システム7において、不良モード別の発生頻度6を表示した場合、図1の例では、パターン欠陥に比べ異物の発生頻度が大きいので、異物発生防止対策を行えば良いことが判る。即ち、作業員は、原因推定過程9bにおいて、発生頻度が高い欠陥を優先的に原因推定し、対策過程9cにおいて、該推定された原因を基にプロセス処理を実行するプロセス処理装置に対して対策を施することで、迅速に歩留まり向上が図れる。このように、本発明に係る欠陥分類装置3は、従来目視で行われていた欠陥分類作業を自動化する装置であり、高い分類性能が要求される。

【0019】次に、本発明に係る欠陥分類方法およびその装置の実施の形態について、図2～図5を用いて説明する。図2は、本発明に係る欠陥分類装置の一実施例を示す構成図である。図3は、図2に示す欠陥分類装置で行う分類手順を説明するための図である。図4は、教示用データ作成手順ならびに画面ならびに教示用データの一実施例である。図5は、学習の原理を説明するための図である。説明は図3の分類手順に従って図2を参照して行う。該当する箇所図4、および図5を参照する。欠陥の分類手順は、図3(a)に示す学習課程と図3

(b) に示す分類過程に分かれる。

【0020】学習課程では、まず、始めに教示用データ作成のための欠陥画像収集ステップ(過程) S31を実施する。即ち、ステップS31において、教示用データを作成するための欠陥画像が収集されて画像記録装置(画像記憶装置)34に格納される。このため、まず、図2に示す基板搬送装置28により、適宜に選ばれた教示用の欠陥が形成された基板8aをステージ31に搭載する。一方、ホストコンピュータ40は、外観検査装置2等で検査されて教示用データの欠陥として選択された教示用の基板8aに対応する欠陥座標情報を上位システムからネットワーク42を経由して受け取る。上位システムとは、歩留り管理システム、製造ライン監視用システム、プロセス管理システムなどの品質管理システムあるいは欠陥を検査する検査装置2などを指す。ホストコンピュータ40は、欠陥座標情報を参照してステージ制御部36に指示を送り、ステージ31を移動して基板8a上の教示用の欠陥を観察位置に移動する。TVカメラ等の撮像装置32は、光学系29を介して得られる教示用データの欠陥を撮像し、撮像された教示用の欠陥画像を画像入力装置33を介して画像記録装置(画像メモリ)34に記録(記憶)させる。以上の処理を、指定された教示用の欠陥について繰り返すことによって、教示用の欠陥画像信号が画像記憶装置34に蓄積されて収集されることになる。なお、教示用の欠陥画像は、半導体製造プロセスで様々なカテゴリで生じた異物、配線パターン欠陥、傷、その他の欠陥を有するウエハ8aを適宜に選ばばよい。このように、上記基板8aは、予め教示用データを作成するためのものである。

【0021】次に、オペレータにより、教示データ作成ステップ(過程) S32が実行される。即ち、ステップS32において、ホストコンピュータ40に対するオペレータの操作によって教示用データ作成(カテゴリA付与)が行なわれる。図4(a)は教示データ作成のフローチャート、同図(b)は教示データ作成におけるモニタ38の画面、同図(c)は記憶装置43に教示データとして記録された欠陥データのデータ内容例である。

【0022】図4(a)に示す如く、ステップS41において、オペレータ(操作者)がキーボードあるいはマウス等の情報入力手段41を用い欠陥画像 $i=1$ を指定操作することにより、ホストコンピュータ40は、ステップS42において、画像記録装置(画像記憶装置)34に記憶された教示用の欠陥画像信号 $i=1$ を呼び出して、モニタ38に表示させる。同時に、オペレータは、教示用の欠陥画像を順番に観察していく過程で、類似した欠陥画像を同一カテゴリとして登録すべく、カテゴリと欠陥名(欠陥の種類:異物、パターン欠陥、傷、その他)との対応関係(カテゴリ一覧表)を入力手段41を用いてホストコンピュータ40に入力して記憶装置43に登録する。これによって、ホストコンピュータ40

は、モニタ38の画面に、カテゴリと欠陥名との対応関係を示すカテゴリ一覧表32を表示することができる。ステップS43において、オペレータは、図4(b)に示すように、モニタ38の画面に31として表示された教示用欠陥画像 $i=1$ を観察し、カテゴリ一覧表(カテゴリと欠陥名との対応関係)32を参照して教示用欠陥画像 $i=1$ に対して入力手段41によりカテゴリA(モニタ38の画面における33)を入力して付与することにより、教示用欠陥画像を示す欠陥番号 $i=1$ に対してカテゴリAが記憶装置43に記憶される。ステップS44において、画像記録装置34に収集記録されたすべての教示用欠陥について処理が終わるまで、ステップS45において、オペレータが入力手段41を用いて教示用欠陥画像 $i=i+1$ の指定操作を繰り返すことにより、ホストコンピュータ40は、ステップS42において、画像記録装置34に記録された教示用欠陥画像信号 $i=i+1$ を順次呼び出してモニタ38の画面に表示させることを繰り返すことになる。更に、ステップS43において、オペレータは、順次モニタ38に表示されたカテゴリ一覧表(カテゴリと欠陥名との対応関係)32を参照して順次教示用欠陥画像 $i=i+1$ に対して入力手段41によりカテゴリAを入力して付与することにより、カテゴリAが順次教示用欠陥画像を示す欠陥番号 $i=i+1$ に対して記憶装置43に記憶されることになる。このように、収集されたすべての欠陥についてカテゴリAが付与されるまで繰り返すことになる。

【0023】即ち、図4(b)に示すように、モニタ38の画面には、教示用欠陥画像31とカテゴリ一覧表32とが表示されるので、オペレータは、教示用欠陥画像31を観察しながら、カテゴリ一覧表32から該当するカテゴリ番号を選択してカテゴリ番号入力部33を用いて入力する。ここで、カテゴリとは、欠陥の種類に与えられる番号であり、欠陥の種類に対応して決められるものである。例えば異物は1、パターン欠陥は2のようなものである。オペレータがキーボードあるいはマウス等の情報入力手段41を用いて入力したカテゴリは、ホストコンピュータ40において教示データとして記憶装置43に記憶される。ここで、カテゴリとは予め決められるものではなく、欠陥を順番に観察していく過程で決まることに注意を要する。すなわち、収集した欠陥画像の全体の傾向は未知であるため、順番に欠陥画像 i を観察しながら類似した欠陥を同一カテゴリとして登録する必要がある。このため、教示データは矛盾したデータを含みやすい傾向にある。次に、ステップS33において、画像処理装置35は、各教示用欠陥画像 i に対して各種特徴量35の抽出(特徴量の選択も含む。)を行なってホストコンピュータ40に提供し、カテゴリ36と対応させて図4(c)に示す教示用データとして記憶装置43に記憶させる。即ち、画像処理装置35は、画像記録装置34に記憶された各教示用欠陥画像信号 i を読み出

し、この読み出された各教示用欠陥画像信号 i に対して画像処理を実施して各種特徴量を抽出してホストコンピュータ40に提供し、記憶装置43に記憶させる。ここで、欠陥画像の各種特徴量とは、欠陥画像の色情報、濃淡値情報、形状、サイズ等である。例えば、カテゴリ1の異物は暗く、円形に近いが、カテゴリ2のパターン欠陥は周辺パターンと同一色で形状は複雑であり、カテゴリ3の傷は面積が小さいが長さが長い性質、等の特徴がある。そこで、画像処理装置35は、予め決められた種類の特徴量1~5(図4(c)の例では5通り34)を計算してホストコンピュータ40に提供し、記憶装置43に教示データとして欠陥番号に対応して記憶する。ここで、分類に有効な特徴量は一意に決められないということに注意を要する。欠陥分類装置3が対象とする製品または工程によって欠陥は異なる。このため、考えられる範囲で多数の特徴量(色情報、濃淡値情報、形状、サイズ等)を用意しておき、収集された欠陥の分類に有効な特徴量のみを選択して使用することが行われる。特徴量の選択方法については、後述する。なお、図3(a)に示すステップS33における特徴抽出には、特徴量選択も含まれる。

【0024】次に、ステップS34において、ホストコンピュータ40は、ステップS32においてカテゴリAが付与された教示用データを基に学習(分類パラメータ)が行われ、算出された分類パラメータ27を記憶装置43に記憶させる。図5(a)(b)は学習の原理を説明する図である。図5(a)はステップS32におい

$$Z_{1..2} = D_1^2 - D_2^2$$

但し、 $Z_{1..2}$: カテゴリ1とカテゴリ2の判別関数

D_1^2 : カテゴリ1の重心とのマハラノビス平方距離

D_2^2 : カテゴリ2の重心とのマハラノビス平方距離

$$Z_{1..2} < 0 \rightarrow \text{カテゴリ1に属する}$$

$$Z_{1..2} > 0 \rightarrow \text{カテゴリ2に属する}$$

ニューラルネットワークはこの判別関数を求める為の一手法であると位置づけられる。なお、図5(a)、

(b)では2つの特徴量を用いて説明したが、実際には多次元のベクトル空間が構成されることに注意を要する。

【0026】次に、本発明に係る実際に所望のプロセス処理工程に設置されたプロセス処理装置によってプロセス処理された被検査対象基板(ウエハ)8に対して基板単位またはロット単位で抜き取られて外観検査装置2で検査され、該外観検査装置2で欠陥と判定された基板単位またはロット単位での被検査対象基板に対して欠陥分類装置3において実行する図3(b)に示す分類過程について説明する。図3(b)に示す分類過程では、ステップS35において、実際に所望のプロセス処理工程に設置されたプロセス処理装置によってプロセス処理された被検査対象基板(ウエハ)8に対して基板単位またはロット単位で抜き取られて外観検査装置2で検査され、

てカテゴリAが付与された教示用データを特徴量空間にプロットした図である。ここで、×印のプロット点37はカテゴリ1であり、□印のプロット点38はカテゴリ2であり、 c_1 は特徴量1、 c_2 は特徴量2の値を示す軸である。ホストコンピュータ40において行う学習とは、ステップS32において付与されたカテゴリ間の判別関数を計算することを意味し、この判別関数(定義するパラメータ)を分類パラメータと呼び、学習の結果として取得されるデータを学習データと呼ぶことにする。分類パラメータは学習データとして保存されるものである。判別関数を図示すると、図5(b)に示す41がカテゴリ間の境界となる。判別関数の算出方法は多くの手法が知られているが、本明細書においては代表的手法である判別分析を例にこの判別関数について説明する。以後、判別分析を例に説明を進めるが、本発明においては他の手法においても同様に成り立つ。次に、複数の特徴量を基にして分類パラメータ27であるカテゴリ間の判別関数を算出する方法である判別分析について、図5

(b)を用いて説明する。同図において、点42はカテゴリ1の重心、点43はカテゴリ2の重心、楕円44は重心からの距離が等しい点の集まりを表す。ここで距離とは特徴空間におけるユークリッド距離を、教示用データの分散で基準化したマハラノビス距離と呼ばれるものである。境界線41はカテゴリ1およびカテゴリ2の重心から等距離にある点の集合である。未知の点45(欠陥分類を行なう検出欠陥に対応)に対する判別関数は次に示す(数1)式で与えられる。

(数1)

このため、 $Z_{1..2}$ に基づく下記(数2)式により分類が可能である。

【0025】

(数2)

該外観検査装置2で欠陥と判定された基板単位またはロット単位での被検査対象基板の欠陥画像が収集されて画像記録装置(画像記憶装置)34に格納される。即ち、まず、図2に示す如く、基板搬送制御部37で制御される基板搬送装置28により、外観検査装置2で欠陥と判定された基板単位またはロット単位での被検査対象基板8をステージ31に搭載する。一方、ホストコンピュータ40は、外観検査装置2等で基板単位またはロット単位で検査されて欠陥が存在する被検査対象基板8に対応する欠陥座標情報を上位システムからネットワーク42を経由して受け取る。上位システムとは、歩留り管理システム、製造ライン監視用システム、プロセス管理システムなどの品質管理システムあるいは欠陥を検査する検査装置2などを指す。ホストコンピュータ40は、受け取られた欠陥座標情報を参照してステージ制御部36に指示を送り、ステージ31を移動して被検査対象基板8上の欠陥を観察位置に移動する。そして、TVカメラ等

の撮像装置32は、光学系29を介して得られる欠陥の画像を撮像し、撮像された欠陥の画像信号を画像入力装置33を介して画像記録装置(画像メモリ)34に記録(記憶)させる。以上の処理を、外観検査装置2によって検査された欠陥について繰り返すことによって、カテゴリを分類するための欠陥画像信号が分類対象の欠陥番号に対応させて画像記憶装置34に蓄積されて、分類対象の欠陥画像信号が収集されることになる。

【0027】次に、ステップS36において、画像処理装置35は、分類対象の欠陥画像に対して各種特徴量の抽出(特徴量選択も含む。)を行ってホストコンピュータ40に提供し、記憶装置43に記憶させる。即ち、画像処理装置35は、画像記録装置34に分類対象の欠陥番号に対応させて記憶された分類対象の欠陥画像信号を読み出し、この読み出された各欠陥画像信号に対して画像処理を実施して欠陥画像の各種特徴量(分類データと称する。)を抽出してホストコンピュータ40に提供し、記憶装置43に記憶させる。ここで、欠陥画像の各種特徴量とは、欠陥画像の色情報、濃淡値情報、形状、サイズ等である。上記記憶装置43に記憶させた分類データは、図4(c)に示す教示用データと同様な内容であるが、カテゴリ欄36は空欄となっている。そこで、ホストコンピュータ40は、ステップS37において、上記記憶装置43に記憶された各欠陥ごとの分類データ(各種特徴量)と、学習過程で算出されて上記記憶装置43に記憶された分類パラメータ(特徴量空間におけるカテゴリ間の判別関数)27で示される教示用データとを用いてカテゴリ(欠陥の種類に対応する。)を推定する分類演算を行って分類カテゴリB30を推定し、この推定された分類カテゴリB(欠陥の種類に対応する。)30を上記分類対象の欠陥番号に対応させて記憶装置43に記憶させる。このように、記憶された分類カテゴリB30は、ネットワーク42を経由して上位システムである品質管理システム7に転送され、図1に示すような不良モード(欠陥の種類に対応する分類カテゴリB)について表示され、対策候補の絞り込みや欠陥の発生原因の推定等の解析が行われる。

【0028】以上説明したような学習型分類システム(欠陥分類装置)3では、学習が分類実行の前に行われているため、教示用画像データをいかに吟味して選定してもその学習時に得られた欠陥属性しか学習データとして記録することができない。このため、実際、分類実行中に起きる半導体ウエハ製造プロセスの変動に起因して、ある欠陥がユーザの定義するカテゴリは同一であっても、欠陥の形状等の特徴量が学習時と異なってくる場合、ユーザが指示するカテゴリへ分類することはできない。つまり、新たに得られた欠陥画像を教示用画像データに含め再学習を実行した場合、分類パラメータ27が変わるわけであるが、これはすなわち図5(b)におけるカテゴリ境界線41が変わって学習された分類性能が保

証されないことを意味する。図5(b)では境界を直線としたが、これを高次の曲線に置き換えても、再学習の結果要求されるカテゴリ境界が曲線の次数を超えれば同様の状態に陥る。前述のニューラルネットワークを用いた分類などの判別分析法を用いる方法によれば、予め判別の為のカテゴリ境界の次数は定められた上で学習を行なう以上、この問題を回避することができない。また、判別分析によれば、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を学習時に獲得した既知の欠陥属性(欠陥カテゴリ)に分類してしまう。分類の信頼度により、その分類を行なうか否かの制御が可能であるが、未知欠陥を分類しないための信頼度に対するしきい値の決定は難しく、プロセスの新たな問題点を摘出するために重要な手がかりとなる未知欠陥を見逃す危険性を排除することはできない。

【0029】そこで、本発明では、半導体ウエハ製造プロセスの変動により生じる欠陥分類属性と欠陥画像の対応の変化に追従するよう、分類処理と学習処理とを並行して実施できるようにし、更に、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を既に学習した欠陥属性から分別して、ユーザに新規の欠陥属性の発生を通知可能にした。

【0030】次に、これを達成するために必要な欠陥画像の分類方法について説明する。欠陥画像の分類は前述の通り、学習過程と分類過程との二つに大きく分けられる。まず、各種の特徴量としては、例えば、欠陥部の円形度、面積などの幾何学的定量的数値、画像平均輝度値、分散値、色に関する値(R(赤)G(緑)B(青)の割合、色相、色彩値の分布など)などの画像情報に関する定量的数値、あるいは欠陥の背景画像も含めた画像情報に関する定量的数値などが考えられる。

【0031】この特徴量を元に学習過程と分類過程との二つに大きく分けられる欠陥画像の分類の第1の実施例について説明する。

【0032】学習過程では、まず、ステップS31において、教示用欠陥画像が収集されて画像記録装置34に記録(記憶)される。次に、ステップS32において、ホストコンピュータ40に対するオペレータの操作によって教示用データ作成(カテゴリA付与)が行なわれる。次に、ステップS33において、画像処理装置35は、各教示用欠陥画像hに対して各種特徴量35の抽出(特徴量の選択も含む。)を行なってホストコンピュータ40に提供し、カテゴリ36と対応させて教示用データとして記憶装置43に記憶させる。即ち、ステップS33において、画像処理装置35は、画像記録装置34に記録された学習対象とする教示用欠陥画像より設定されたm個の特徴量を抽出する。今、特徴量をcとし、予め設定された特徴量の種類の個数をmとする。一つの教示用欠陥画像から抽出されるm個の特徴量の組み[c1, c2, ..., cm]を特徴量ベクトルとする。特徴量ベ

クトル C_h は特徴量ベクトル空間の一点 $[c_{1h}, c_{2h}, \dots, c_{mh}]$ に対応する。即ち、画像処理装置35において各教示用欠陥画像に対して抽出された特徴量ベクトルは、ホストコンピュータ40に提供され、図4(c)に記載したように、各教示画像のインデックスである欠陥番号に対応して欠陥カテゴリとともに記憶装置43に記憶される。この記録されたものを学習データ(教示用データ)と以下呼ぶことにする。また、特徴量ベクトル空間内の、各教示用欠陥画像より抽出された特徴量ベクトルで表される点を教示点と以下呼ぶことにする。

【0033】次に、教示データ作成ステップS32、特徴量抽出ステップS33および学習ステップS34の具体的内容を図6～図9を用いて説明する。即ち、ステップS61において、オペレータによる入力手段41の操作によって、ホストコンピュータ40は、最初の教示用欠陥画像を画像記録装置34から呼び出して、図7に示すモニタ38上の表示領域45に表示させる。オペレータが表示された教示用欠陥画像を観察し、ステップS62においてこの教示用欠陥画像を登録するか否かを決定し、登録しない場合には、ステップS69においてスクロール55を操作することによってホストコンピュータ40は、次の教示用欠陥画像を画像記録装置34から呼び出してモニタ38上の表示領域45に表示させる。ステップS62において教示用欠陥番号 h の教示用欠陥画像を登録する場合には、オペレータが教示用データ表示53を指示することによって表示領域46に図8に示すカテゴリ一覧表を表示し、ステップS63において表示された教示用欠陥画像に対応するカテゴリが表示されたカテゴリ一覧表にあるか否かを調べ、ある場合には、ステップS64においてオペレータは一覧表から該当するカテゴリ番号を選択してカテゴリ番号入力部47に入力してカテゴリを付与する。この処理は教示用として収集されたすべての欠陥画像について順番に行い、全ての欠陥画像の処理が終わるまで繰り返す。

【0034】モニタ38に表示される内容を図7に示す。モニタ38上には、表示領域45に教示用欠陥画像が、表示領域46にカテゴリ一覧表が表示される。カテゴリとは、欠陥種類に与えられるコード、番号、あるいは欠陥名称そのものであり、欠陥種類に対応して決められるものである。図8には番号で欠陥カテゴリを規定し、カテゴリ一覧表には分かりやすいようにカテゴリ番号に対応する欠陥名称を表示した例を示す。番号で欠陥カテゴリを表現するのであれば、例えば異物は1、パターン欠陥は2のように設定される。カテゴリは予め想定し、設定できるものの他にも、欠陥を順番に観察していく過程で設定、追加されるカテゴリもある。ステップS63において教示用欠陥画像に対応するカテゴリがカテゴリ一覧表に無い場合には、ステップS70において新しいカテゴリをカテゴリ一覧表に追加設定する。即ち、図7に示す如く、オペレータが新規カテゴリ登録48を

指示(マウスでクリック、あるいは実行命令をキーボードから入力)することによって、ホストコンピュータ40は、キーボード41の操作による入力カラム49への新規カテゴリ情報の入力を実行する。入力の完了は50を指示、入力中断、取り消しは51を指示する。入力完了した新規カテゴリはカテゴリ一覧表46に追加される。これによって、ステップS71において上記入力された教示用欠陥画像に対して新しいカテゴリが付与設定されて記憶装置43に記憶されることになる。即ち、新しく追加されたカテゴリは、教示用欠陥番号で示される教示用欠陥画像に対応するカテゴリとして記憶装置43に登録される。

【0035】欠陥画像詳細情報欄52には、欠陥画像の採取日時、工程、ウエハ名称等の付帯状況、カテゴリ付与すべき教示用入力欠陥画像の総数、現在までにカテゴリ付与処理された画像数、教示用欠陥画像に対して付与されたカテゴリの頻度などのカテゴリ入力作業に付帯する情報を表示する。教示用データ表示53を指示することにより図8に示す教示用データ一覧表を現在までにカテゴリ入力が完了した分について表示する。登録ボタン54によりカテゴリ入力を確定する。また、スクロール55を操作することによってホストコンピュータ40は、画像記録装置34から複数の教示用欠陥画像を欠陥番号順にあるいは、画像記録装置34に記憶されている順番で、前後に呼び出すことが可能となる。すでにカテゴリが入力されていれば、そのカテゴリも表示することができる。また、スクロール55の誤操作によって呼び出してカテゴリを入力しようとする欠陥画像と別の欠陥画像について呼び出しが行われた場合は、カテゴリ入力作業中の欠陥画像に対してはカテゴリは決定されず、カテゴリ未登録のままとなる。また、他の欠陥画像に移動して画像記録装置34から呼び出すにあたっては、スクロール55を使って行なうほかに、既登録の教示用データ表示53を実行し、図8に示す教示用データ一覧表の任意の欠陥番号に対応するカラムを指示することにより行う方法も考えられる。

【0036】次に、図6に示すステップS65以降について説明する。まず、特徴量の第1実施例によれば、入力された教示用欠陥画像の登録がステップS62において確認されれば、ホストコンピュータ40は、画像処理装置35に対して指令を出して画像記録装置34からその教示用欠陥画像を読み出して画像処理装置35において各種 m 個の特徴量を抽出し、該抽出された各種 m 個の特徴量をホストコンピュータ40に提供し、ステップS64において付与されたカテゴリと対応させて教示用データとして記憶装置43に記憶させる。そして、ホストコンピュータは、画像処理装置35から抽出(算出)された欠陥番号 h の m 個の特徴量の組み (c_1, c_2, \dots, c_m) に基づく特徴量ベクトル空間における C_h を教示点座標として算出して確定することができる。図10に

示すように、例えば、2つの特徴量の軸 c_1 、 c_2 に基づく特徴量ベクトル空間における教示点座標 Ch は、次に

$$Ch = (c_{1h}, c_{2h})$$

そこで、ステップS65において、ホストコンピュータ40は、上記入力された教示点 Ch に対して次に示す(数4)式に基づいて最近傍(2点間の距離が最も近い)の既入力教示点 Cg を探索し、次に示す(数5)式に基づいて、上記入力された教示点 Ch と探索された既入力教示点 Cg との間のユークリッド距離がしきい値 THd 以下の条件を満たすか否かを調べ、この条件を満たさない場合は、入力された教示点 Ch の近傍には既入力教示点 Cg が存在しない(入力チェックがアクティブでない=NO)ということで、ステップS64において入力された教示点 Ch に対してカテゴリ一覧表を基に付与されたカテゴリがそのまま登録されることになる。も

$$|CkCh| = \sqrt{\sum_{x=1}^m (ckx - chx) \times (ckx - chx)} \quad (\text{数4})$$

【0038】なお、 $|CkCh|$ は、入力された教示点座標 Ch と既に入力された教示点座標 Ck との間のユークリッド距離を表す。そして Cg は、入力された教示点座標 Ch に最も近傍の既入力教示点である。図10に示す場合には、入力された教示点座標 Ch に最も近傍の既

$$THd \leq \min_k |CkCh| \rightarrow Ch \text{ は既入力教示点と異なるカテゴリの入力教示点 (未知カテゴリの新規の教示用欠陥)}$$

$$THd > \min_k |CkCh| \rightarrow Ch \text{ はカテゴリが付与された既入力教示点 } Cg \text{ に最も近傍している入力教示点 (} Cg \text{ のカテゴリに属する新規の教示用欠陥)}$$

但し、 $k = (1, 2, \dots, h-1)$

【0040】このように、ステップS65において、ホストコンピュータ40が、入力された教示点 Ch の近傍には既入力教示点 Cg が存在する(入力チェックがアクティブである=YES)と判定した場合、ステップS66において、ホストコンピュータ40は、モニタ38に対して図9に示すように探索した最近傍の欠陥番号 g の教示用欠陥画像と入力された欠陥番号 h の教示用欠陥画像とをカテゴリと共に表示する。なお、入力された欠陥番号 h の教示用欠陥画像に対するカテゴリの付与は、ステップS64において行われている。このように表示する教示用欠陥画像は、最近傍の教示用欠陥画像のみではなく、入力教示点 Ch との距離の小さい順に操作者の指定する枚数だけ表示してもよい。次に、ステップS66において、オペレータが、ステップS64において付与されてカラム47に表示された欠陥番号 h の教示用欠陥画像のカテゴリと、既登録での最近傍の欠陥番号 g の教示用欠陥画像のカテゴリとを比較し、その比較結果、カテゴリが同じ場合(別カテゴリの別教示点が近傍にない場合)は、ステップS64において入力された教示点 Ch に対してカテゴリ一覧表を基に付与されたカテゴリがそのまま登録されることになる。もし、比較した結果、

示す(数3)式の関係を有することになる。

(数3)

し、上記条件を満たす場合は、入力された教示点 Ch の近傍には既入力教示点 Cg が存在する(入力チェックがアクティブである=YES)ということで、ステップS66へ進むことになる。ところで、ホストコンピュータ40は、探索された最近傍の既入力教示点 Cg の欠陥画像を、図9に示す表示領域57に表示し、教示点 Ch と既入力教示点 Cg との間のユークリッド距離、およびしきい値 THd 以下の条件を満たすか否かを、カラム58に表示する。

【0037】

【数4】

入力教示点 Cg は $C1$ となり、ユークリッド距離がしきい値を満たすことになる。

【0039】

【数5】

(数5)

カテゴリが相違する場合、ステップS67において欠陥番号 h の教示用欠陥画像を表示領域45に表示し、ステップS68においてこの教示用欠陥画像を教示用として登録する必要がないと判断した場合、ステップS62に戻って登録取りやめボタン65を操作することによって登録を取りやめる。これによって、ステップS69に進み、次の教示用欠陥画像が画像記録装置34から呼び出されることになる。また、ステップS68においてこの教示用欠陥画像を教示用として登録する必要があると判断した場合、カテゴリ表示カラム47を用いて最近傍の欠陥番号 g の教示用欠陥画像のカテゴリに合わせたカテゴリを入力することによって登録されることになる。

【0041】次に、ステップS72において、教示用欠陥画像の全てに対してカテゴリが付与されるまで、繰り返されて終了となる。即ち、予め設定した複数の特徴量若しくは複数の教示用欠陥画像セットから抽出される複数の特徴量を基準特徴量として用い、この基準特徴量により形成される多次元の特徴量ベクトル空間を用い、教示用欠陥画像を基準特徴量により特徴量ベクトル空間の1点に対応付け、同様にして複数の教示用欠陥画像を特徴量ベクトル空間に教示点として、それに対応する欠陥

画像データが属する欠陥分類属性（カテゴリ）を対応付けて記憶する。このように、ホストコンピュータ40が特徴量ベクトル空間に教示点Chをカテゴリを対応付けて記憶装置43に教示用データとして登録する際、図9に示したモニタ38の画面をとおり、オペレータは、ステップS65およびS66において表示領域45に表示された入力された教示用欠陥画像を元に、表示領域57およびカラム58に表示された近傍教示用欠陥画像及びそのカテゴリを検討し、ステップS68において入力された教示用欠陥画像の登録を既に入力したカテゴリで行なうか否かを決め、否の場合はステップS62において登録を続行するか否かを決め、ステップS68においてカテゴリを変えて登録をする場合は、ステップS64と同様にカテゴリ一覧から選択あるいはステップS70およびS71と同様に新規カテゴリ追加の処理をもう一度実行し登録を行なう。

【0042】このように、ホストコンピュータ40は、モニタ38との間においてステップS63～S68、S70、S71の処理を実行することによって、特徴量ベクトル空間においてカテゴリをきちんと区分けた形態で教示用データを取得することが可能となる。例えば、図5(b)に示すように、2つの特徴量ベクトル空間において、×（カテゴリ1）、□（カテゴリ2）でもって、カテゴリをきちんと区分けた形態で教示用データを取得することが可能となる。ところで、設定登録されたカテゴリは、欠陥番号など欠陥画像のインデックスとなる情報とともにホストコンピュータ40内、あるいはホストコンピュータに接続された情報記憶手段（記憶装置）43、あるいはネットワーク42を介して接続されている前述の上位システムに教示用データとして記録される。教示用データのデータ内容は図8に示す通りである。特徴量の数mは、具体的に後述する特徴量の第1の実施例における予め設定した特徴量の数、あるいは特徴量の第2の実施例における固有空間の次元数sで決まる数である。さらに、モニタ38に表示される内容を図9に示す。45は入力欠陥画像を表示する表示領域であり、47は入力欠陥画像に対する入力カテゴリを表示するカラムである。57は近傍既入力欠陥画像を表示する表示領域であり、58は近傍既入力欠陥画像のカテゴリ、近傍既入力欠陥画像と入力欠陥画像のユークリッド距離、またその距離がしきい値（THd）以下の条件を満たすか否かのステータスフラグなどを表示するカラム、59は距離順に表示された近傍既入力欠陥画像を閲覧する為、欠陥画像をスクロールするボタン、60は再探索実行指示ボタン、61は探索欠陥画像数入力カラム、62はカテゴリ一覧表示ボタンあるいはカテゴリ一覧表示そのものの、63は新規登録ボタンあるいは図7の48、49、50、51に示す新規カテゴリ入力に必要なボタン及び入力表示カラムを表す。47に示す入力欠陥画像のカテゴリ表示カラムは入力も受け付け、カラムへの直接入

力、あるいは62、63からの入力を介しての入力も受け付ける。64は入力欠陥画像に対するカテゴリ登録を実行するボタン、65は登録取りやめボタンである。

【0043】次に分類過程について説明する。ステップS36において、画像処理装置35は、画像記録装置34に分類対象として入力されて記録された欠陥画像について同様に、前述の予め設定したm個の特徴量の組み（ c_1, c_2, \dots, c_m ）に基づく特徴量ベクトル（以降、分類データと呼ぶ。）として抽出し、該抽出された特徴量ベクトルをホストコンピュータ40に提供し、記憶装置43に記憶する。記憶される分類データは、図4(c)に示すデータと同様な内容であるが、カテゴリ欄36が空欄である。このため、分類用各欠陥について、その特徴量からカテゴリを前述の分類パラメータ（教示用データ）27を用いて推定する。推定されたカテゴリは、ホストコンピュータ40に接続された記憶装置43に記憶される。記憶（記録）された分類データ30は、ネットワーク42を経由して上位システムである品質管理システム7に転送されることになる。次に、ステップS37において行う分類演算（分類データの作成処理）について図11、図12、および図13を用いて具体的に説明する。まず、ホストコンピュータ40は、分類対象とする入力された各欠陥画像の特徴量ベクトルを記憶装置43から呼び出すことによって、分類対象の各欠陥画像の特徴量ベクトル空間を形成することができる。以下、分類対象の欠陥画像により生成された特徴量ベクトルにより表される特徴量ベクトル空間内の点を分類対象点Cと呼ぶことにする。ステップS101において入力された分類対象である欠陥番号が入力欠陥画像についてホストコンピュータ40は、ステップS102において分類対象点Cの最近傍にある教示点Ceを探索し、該探索教示点Ceに対応する教示用欠陥番号eに記録されている欠陥カテゴリを分類結果とすることで実行される。

【0044】学習過程において収集された教示用欠陥画像に対して算出された欠陥番号iの特徴量ベクトル空間におけるCiを教示点座標とし、分類過程において収集された分類対象の欠陥画像よりステップS36において算出された特徴量ベクトルすなわち特徴量空間におけるCを分類対象点座標とする。また、学習過程において収集された教示用欠陥画像に対してステップS32において欠陥番号iに対応して付与されたカテゴリをCat(i)、分類過程において収集された分類用欠陥画像に対してステップS37で分類演算されるカテゴリをCatと記すことにすれば、上述の分類処理は次に示す（数6）式にて記述することができる。なお、教示用データとしては、n個の教示用欠陥画像で構成されているものと仮定する。

【0045】

【数6】

$$\text{Cat} = \text{Cat} (i = \{i = k \mid \min_k |CkC|, k = (1, 2, \dots, n)\}) \quad (\text{数6})$$

【0046】 $|CkC|$ は教示点座標 Ck と分類対象点座標 C のユークリッド距離を表す。具体的には次に示す(数7)式で表される。

$$|CkC| = \sqrt{\sum_{x=1}^m (ckx - cx) \times (ckx - cx)} \quad (\text{数7})$$

【0048】(数6)式により、任意の分類対象はいかなるケースにおいてもそのカテゴリを一意に決定することができる。即ち、(数6)式の関係から、分類対象点座標 C を有する分類対象欠陥画像のカテゴリ Cat は、教示点座標 Ck と分類対象点座標 C のユークリッド距離 $|CkC|$ が最小を示す教示用欠陥番号 i に付与されたカテゴリ $\text{Cat}(i)$ として一意に決定することができる。

【0049】しかしながら、分類対象点 C がいくら最近傍点であっても既登録の教示点 Ci から離れているものは既カテゴリには登録されていない、すなわち新たな欠陥カテゴリに分類されるべき未知欠陥である可能性もある。そこで、ステップS102において、ホストコンピュータ40は、未知欠陥については既カテゴリに分類が不可能とし、操作者にカテゴリの確認を行なうのが妥当である。このような未知欠陥を、ホストコンピュータ40において識別するために、教示点座標 Ci と分類対象点座標 C のユークリッド距離に対するしきい値 THd が

$$\left. \begin{aligned} \text{THd} &\leq \min_k |CkC| \rightarrow C \text{はカテゴリが付与できない分類未知欠陥} \\ \text{THd} &> \min_k |CkC| \rightarrow C \text{は(数3)式で定められるカテゴリに属する} \end{aligned} \right\} \quad (\text{数8})$$

但し、 $k = (1, 2, \dots, n)$ とする

【0051】これにより、特徴量ベクトル空間において分類対象点 C からしきい値 THd 以内に(近傍に)教示点 Ci が存在しない場合には、分類対象点 C における分類対象の欠陥画像は属性不明、すなわち未知欠陥として分類することが可能となる。

【0052】次に、ホストコンピュータ40は、ステップS105において、全ての分類用欠陥画像について分類カテゴリ B が付与されるまで、ステップS106に戻って次の分類用の欠陥画像が画像記録装置34から読み出して繰り返すことになる。更に、ホストコンピュータ40は、ステップS107において、分類未知欠陥リストに欠陥番号が登録されているかを調べ、登録されていない場合は終了となり、登録されている場合には、ステップS108において未知欠陥に分類された入力欠陥画像についてオペレータのレビューにかけるために、未知欠陥に分類された入力欠陥画像(カテゴリ不明の欠陥画像)を図2に示すモニタ38に表示させる。そして、ステップS109において、オペレータは、必要に応じて、未知欠陥のカテゴリを入力して付与する。カテゴリ

【0047】
【数7】

入力手段43等を用いてホストコンピュータ40に対して設定される。次に、ホストコンピュータ40は、この設定されたしきい値 THd と、(数3)式において算出される最小値 $\min_k |CkC|$ とを、次に示す(数8)式に示すように比較してカテゴリは決定できるか否かを判断し、カテゴリが決定できる場合には、ステップS103においてカテゴリを記憶装置43に格納される分類結果テーブルに登録し、カテゴリが決定できない場合には、ステップS104においてこの分類対象の欠陥番号 i を記憶装置43に格納される分類未知欠陥リストに追加する。分類未知欠陥とは、記憶装置43に記憶されている現在の教示用データから、分類対象の欠陥画像 i が、特徴量ベクトル空間において、教示済の欠陥画像から大きく離れて存在してカテゴリを付与することが難しいものを示す。

【0050】

【数8】

がオペレータにより提示された場合には、この未知欠陥に対し提示されたカテゴリを未知欠陥の特徴量ベクトルに付し、教示用データとして記録する。この教示用データへの記録処理は、ステップS110において、図4(c)に示した教示用データリストに、新たな欠陥番号を追加し、追加された欠陥番号に対しカテゴリ、および特徴量ベクトル等を記録することにより終了となる。

【0053】即ち、ステップS110における分類未知欠陥へのカテゴリ付与について、図12及び図13に示すモニタ表示に沿って以下詳述する。まず、カテゴリ付与対象となる分類未知欠陥画像の選択は、図12に示す一覧表示されている分類未知欠陥画像の中からユーザが選択指示することにより実行される。あるいは、キーボード41による欠陥画像ファイル名入力、欠陥画像ファイル名リストからの選択でもよい。モニタ38には、分類未知欠陥画像が表示領域66に、特徴量ベクトル空間内での近傍点にある教示用欠陥画像がそのカテゴリと共に距離順に表示領域67およびカラム75に表示され、操作者は表示された近傍点教示用欠陥画像から類似する

画像を選択し、カラム 73 に分類未知欠陥のカテゴリを入力する。なお、ボタン 76 は、距離順に表示された近傍点教示用欠陥画像をスクロールさせるためのものである。

【0054】ところで、近傍点教示用欠陥画像に類似する欠陥画像が無い場合は、表示領域 76 に表示されたカテゴリ一覧表を参照し、該当カテゴリを選択するか、あるいは新規カテゴリを設定し、分類未知欠陥に新カテゴリを与え登録する。カテゴリ一覧表からの選択、あるいは新カテゴリ登録は学習過程で述べた方法と同一である。即ち、オペレータが、新規カテゴリ登録 77 を指示することによって、キーボード 41 の操作による入力カラム 80 への新規カテゴリ情報の入力がホストコンピュータ 40 によって実行される。入力の完了は 78 を指示、入力中断、取り消しは 79 を指示する。また、欠陥画像詳細情報欄 74 も学習過程で述べたもの 52 と同一である。最後に、分類登録のみのボタン 69 により分類未知欠陥画像に対するカテゴリ入力を確定する。これに対し、登録ボタン 68 は分類未知欠陥画像に対するカテゴリ入力を確定するとともに、この分類未知欠陥画像を教示用画像として、その画像と、それより得られる特徴量を新たに学習データ（教示用データ）に追加する。また、ステップ S110 における分類未知欠陥に対するカテゴリ分類放棄は削除ボタン 70 で実行する。また、ボタン 71 によって複数ある分類未知欠陥画像をリスト記録順に前後に呼び出す。すでにカテゴリが入力されていれば、そのカテゴリも表示される。ボタン 71 の誤操作によって別の分類未知欠陥画像の呼び出しが行われた場合には、カテゴリ入力作業中の分類未知欠陥画像に対してはカテゴリは決定されずカテゴリ分類未実施のままとする。入力チェックボタン 72 の機能については学習過程で述べたとおりである。

【0055】ところで、新たに追加される欠陥番号、対応するカテゴリ、特徴量ベクトルをまとめて新規教示用データと呼び、新規教示用データの特徴量ベクトルにより表される特徴量ベクトル空間内の点を新規教示点と呼ぶことにする。欠陥分類は、分類対象点 C が前述したように教示点 C_i の近傍に分類対象点がある場合、その分類対象の欠陥画像に対してその教示点のカテゴリを付与して行う。よって、新規教示点を追加したとしても、以前から存在する教示点の特徴量ベクトル空間内における位置は、新規教示点の追加によって変化しないので、新規教示点を追加以前の分類性能を保持することが可能となる。例外は、既存の教示点の $2 \times THd$ の距離以内に、カテゴリの異なる新規教示点が入った場合である。仮に、既存の教示点がカテゴリ P に属し、新規教示点がカテゴリ Q に属するとする。この場合、新規教示用データ入力以前は既存の教師点の THd の距離以内の近傍に対応する分類対象点 C は全てカテゴリ P と分類されるが、新規教示用データ入力以降は分類対象の最近傍教示

点が既存の教示点になるか、新規教示点になるかでカテゴリは P あるいは Q になる空間領域が特徴量ベクトル空間内にできる。このようなケースは前記のように、新規教示点が既存の教示点の THd の 2 倍の距離以内に置かれたとき発生する。しかしながら、異なるカテゴリを持つ教示用データ点が近傍にあること自体が、本来、カテゴリの異なる欠陥を分離すべく設計された特徴量ベクトル空間の前提と矛盾しているのであるから、既存の教示点の $2 \times THd$ なる距離以内にカテゴリの異なる新規教示点が置かれたときには、新規教示データに対応する入力欠陥画像及び既存の教示データに対応する入力欠陥画像を図 2 に示すモニタ 38 上に並置して表示し、オペレータに教示データの入力に矛盾がないか問い合わせを行なう。オペレータは、モニタ 38 上に並置された画像とそのカテゴリを確認し、どちらか一方のカテゴリに統一、異なるカテゴリとしてそのまま登録、登録取りやめのいずれかの処理を選択する。これにより矛盾したデータがオペレータに感知されずに入力されることを防ぐことができる。このような処理を起動するか否かを決定するしきい値をここでは $2 \times THd$ としたが、余裕を見ることができるよう $\alpha \times THd$ とし、 α はオペレータが任意の値に設定できるよう外部入力可とすることも考えられる。

【0056】ここで述べた、いわゆる登録教示用データの矛盾は、分類過程と並行して実施される学習過程のみで起こる問題ではなく、初期の学習過程でも起こりうる。例えば、操作者（オペレータ）の入力ミス、未熟な操作者によるカテゴリの一貫性を欠いた教示用データ入力などが挙げられる。しかし初期の学習過程においても前述と同様なチェックを行なうことにより、このような誤入力を未然に防ぐことが可能となる。以上により分類処理を行いながら、教示用データを追加していくことが出来るので、半導体ウエハ製造プロセスの変動により生じる欠陥分類属性（カテゴリ）と欠陥画像の対応の変化に、欠陥分類装置を追従させることが可能となる。また、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を既に学習した欠陥属性（カテゴリ）から分別して、ユーザに新規の欠陥発生を通達可能な半導体欠陥の画像分類方法及び装置を提供が可能となる。以上、特徴量の第 1 の実施例として、欠陥の色情報、形状、サイズなど予め決められたものとして説明を進めた。これらの特徴量の第 1 の実施例によれば、色情報、形状、サイズなどであるため、操作者に対してその値の意味が明示的であり、教示用データが適切に特徴量ベクトル空間内に分布しているか、分類対象欠陥から抽出される特徴量が妥当かなどが直感的に把握可能であるという利点がある。特に、光学画像の場合、色情報、形状、サイズなど特徴量を抽出することによって、カテゴリが付与できるように識別可能となる。

【0057】他方、電子線を照射して得られる二次電子

や反射電子による画像の場合、色情報は得られず、その代わりにテクスチャーの状態（濃淡値の微妙な変化）、複雑な形状などの明示的でない特徴量でカテゴリが付与できるように識別する必要が生じる。しかしながら、テクスチャーの状態、複雑な形状などの特徴量の場合、明示的に設定することが困難で、そのため取り扱わなければならないカテゴリを十分に識別できる保証がない。即ち、テクスチャーの状態、複雑な形状などの明示的でない教示用欠陥画像をモニタ 38 の表示領域 45 に表示させても、オペレータはどのカテゴリ A を付与すればよいかわかりやすく決定することができない。

【0058】そこで、この課題を解決することができる特徴量の第 2 の実施例について説明する。光学画像でも、電子線画像でも、欠陥番号 k の教示用画像信号としては、ラスタ走査することによって、走査順に得られる濃淡値で示される画素信号 (i_1, i_2, \dots, i_p)

$$I_k = [i_1, i_2, \dots, i_p]^t / (\sqrt{\sum_{y=1}^p i_y \times i_y}) \quad (\text{数9})$$

【0060】t は行列の転置を表す記号である。p は画素数である。教示用画像信号 I_k は、上記のように、

$[i_1, i_2, \dots, i_p]$ の転置行列に対して、予め一定の大きさ ($p = u \times w$) に正規化し、画像の明るさ（濃淡値）についても上記（数 9）式の右の項（濃淡値の平方和）に示すように正規化を施したものであるため、撮像条件等による感度のばらつきを除去した正規化された教示用画像信号を得ることができる。そこで、特徴量の第 2 の実施例は、教示用欠陥画像について、共分

$$A = (\sum_{k=1}^n I_k) / n \quad (\text{数10})$$

【0062】次に、画像処理装置 35 は、各教示用欠陥画像 (I_1, I_2, \dots, I_n) から平均画像 A を差し引

$$X \equiv [I_1 - A, I_2 - A, \dots, I_n - A] \quad (\text{数11})$$

そして、画像処理装置 35 は、教示用欠陥画像集合の共分散行列 Q を次に示す（数 12）式に基づいて計算す

$$Q \equiv X \cdot (X \text{ の転置行列}) \quad (\text{数12})$$

p 次元の固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ で張られる固有空間（部分空間）は次に示す固有方程式（数 1

$$\lambda q \cdot e q = Q \cdot e q \quad (\text{数13})$$

即ち、教示用欠陥画像の特徴量を、s 個の大きい固有値 ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_s \geq \dots \geq \lambda_p$) に対応する固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ で張られる固有空間（部分空間）で表現することができる。なお、s は $p (= u \times w)$ より小さい値である。s の値を大きく取ればとるだけ、固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ によって教示用欠陥画像の細部の特徴量を表現でき、s の値が小さければ固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ によって大まかな教示用欠陥画像の特徴量のみが表現できる性質を持

て表されることになる。ところで、このような教示用画像信号から撮像条件等による感度のばらつきの影響を受けない特徴量を算出するために、まず撮像条件等による感度のばらつきを除去した正規化された教示用画像信号を得る必要がある。そこで、画像処理装置 35 は、画像記録装置 34 で収集された欠陥番号 k の教示用画像信号に対して、まず、2 次元の大きさ ($p = u \times w$) および明るさ（濃淡値）について正規化処理を行う。その結果、図 14 に示すように予め一定の 2 次元の大きさ ($p = u \times w$) に正規化され、更に明るさ（濃淡値）についても正規化された、 $u \times w$ の 2 次元の画素の濃淡値で構成されるベクトルで表される欠陥番号 k の教示用画像信号 I_k （次の（数 9）式で示す。）が得られる。

【0059】

【数 9】

散行列の固有ベクトルが張る固有空間（固有ベクトル空間）で表すものである。教示用欠陥画像について、共分散行列の固有ベクトルが張る固有空間を計算するために、まず、画像処理装置 35 は、画像記録装置 34 で収集された全ての正規化された教示用欠陥画像の平均画像 A を次に示す（数 10）式によって求める。

【0061】

【数 10】

き、行列 X を次に示す（数 11）に基づいて生成する。

る。

3) を解くことによって求められる。

【0063】

っている。固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ で張られる固有空間によって、教示用欠陥画像の特徴量を表現することができる。もともとの教示用欠陥画像と、次元 s の固有空間で表現された画像との残差 E は、次に示す（数 14）式で表され、残差率 R_e は、次に示す（数 15）式で表される。

【0064】

【数 14】

$$E = \sum_{r=s+1}^p \lambda_r \quad (\text{数14})$$

【0065】

【数15】

$$Re = \left(\sum_{r=s+1}^p \lambda_r \right) / \left(\sum_{r=1}^p \lambda_r \right) \quad (\text{数15})$$

【0066】従って、ホストコンピュータ40は、画像処理装置35に対して提供する固有値 ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_s \geq \dots \geq \lambda_p$) によって算出される残差率 Re を指標として、分類正解率などの分類性能を勘案して s を決めて画像処理装置35に対して提供する。以上説明したように、第2の実施例における特徴量とは、 p 次元の固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ である。即ち、画像処理装置35は、固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ を算出してホストコンピュータ40に提供することになる。なお、固有ベクトルの算出も、ホストコンピュータ40において実行してもよい。

【0067】ホストコンピュータ40は、画像処理装置35から提供を受けたまたは自身で求めた固有ベクトルを用いて、欠陥番号 k の教示用欠陥画像について、次に示す(数16)式に基づく固有ベクトル空間内の教示点 i の位置にプロットすることができる。図15には、一つの固有ベクトル $[e_1]$ 空間内における教示点 i の位置を模式的に示した。なお、この際、ホストコンピュータ40は、 $(I_k - A)$ に関するデータを画像処理装置35または画像記録装置34から提供を受ける必要がある。

【0068】

$$i_k = ([e_1, e_2, \dots, e_s] \text{ の転置行列}) \times (I_k - A) \quad (\text{数16})$$

そして、ホストコンピュータ40は、ベクトル i_k の s 個の要素と欠陥番号 k のカテゴリを図4(c)に示す教示用データの内容として記憶装置43に記憶する。また、併せて固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ (第2の実施例における特徴量の座標軸となる。)も特徴量として記憶装置43に記憶する。以上の説明が、特徴量の第2の実施例に基づく図3(a)に示す特徴量抽出ステップS33である。なお、教示データ作成ステップおよび学習ステップS34については、特徴量の第1の実施例と同様に、即ち図6～図9に示すように実行される。即ち、特徴量ベクトルが、特徴量の第1の実施例の場合、 $[c, c, \dots, e_m]$ であるのに対して、特徴量の

第2の実施例の場合、固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ となる。次に、この特徴量の第2の実施例を用いた分類過程について説明する。画像記録装置34から入力した分類対象欠陥画像を、画像処理装置35において、教示用欠陥画像と同様の大きさに正規化し、明るさ(濃淡値)についても同様の正規化を施す。正規化処理後の分類対象欠陥画像ベクトルを J とする。次に、画像処理装置35またはホストコンピュータ40において、このベクトル J を次に示す(数17)式により p 次元の固有ベクトル空間上の点 j に投影する。

【0069】

$$j = ([e_1, e_2, \dots, e_k] \text{ の転置行列}) \times (J - A) \quad (\text{数17})$$

図11に示すステップS102におけるカテゴリ決定は、この分類対象点 j が固有ベクトル空間内に点在する教示点 i_k のどの点に最も近いかで実行される。分類対象点の近傍にある教示点の探索とそれによるカテゴリ決

定は、(数6)式と同様に、次に示す(数18)式に基づいて処理される。

【0070】

【数18】

$$Cat = Cat(i = \{i = k \mid \min_k |i_k j|, k = (1, 2, \dots, n)\} \}) \quad (\text{数18})$$

【0071】 $|i_k j|$ は教示点座標 i_k と分類対象点座標 j のユークリッド距離を表す。分類未知欠陥の処理は前述した内容と同じである。分類過程において並行して実行される学習過程においては、新規教示用データも加えて固有ベクトル $[e_1, e_2, \dots, e_s]$ を計算し直した方がよい。固有ベクトルを計算し直しても、 s 次元の空間に教示点は点在していること、教示点に対応するカテゴリは不変なことから、学習結果に継続性は保証される。

【0072】以上、特徴量の第2の実施例を用いても分類対象の欠陥画像に対して正確に分類カテゴリ B を付与

することが可能となる。特に、波長の短いエキシマレーザ光などの紫外線による光学画像や、電子線を照射したことによって得られる粒子線画像等においては、特徴量として色情報が得られず、特徴量としてテクスチャーの状態(濃淡値の微妙な変化)、複雑な形状などが得られることから、特徴量ベクトル空間として第2の実施例である固有ベクトル空間を用いることが好ましい。

【0073】

【発明の効果】本発明によれば、欠陥画像の分類処理を行いながら、教示用データを追加していくことが出来るので、半導体ウエハ製造プロセスの変動により生起する

欠陥分類属性と欠陥画像の対応の変化に、欠陥分類を追従させることができる効果を奏する。また、本発明によれば、プロセスの変動によって生じる未知の新たな欠陥を既に学習した欠陥属性から分別して、ユーザに新規の欠陥発生を通知可能にすることができ、その結果、条件変動する製造プロセスで発生する新規の欠陥を確実に検出することが可能となるので、信頼性の高いプロセス管理のための欠陥情報収集を実現することができる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る欠陥分類方法およびその装置の半導体製造プロセスにおける役割を説明するための図である。

【図 2】本発明に係る欠陥分類装置の一実施例を示す構成図である。

【図 3】本発明に係る欠陥分類装置が行う学習過程と分類過程との夫々の処理手順を説明するための図である。

【図 4】本発明に係る学習過程における教示用データ作成手順、モニタ画面および教示用データを示す図である。

【図 5】本発明に係る学習の原理を説明するための図である。

【図 6】本発明に係る教示用データ作成手順を具体的に示すフローチャート図である。

【図 7】図 6 に示す教示用データ作成手順を実行するためのモニタ画面を示す図である。

【図 8】本発明に係る教示用データであるカテゴリー一覧表の一例を示す図である。

【図 9】図 6 に示す教示用データ作成手順を実行するためのモニタ画面を示す図である。

【図 10】本発明に係る教示用欠陥画像における 2 つの特徴量に基づく特徴量ベクトル空間の第 1 の実施例における入力された教示点座標と既入力教示点座標との関係

を模式的に示した図である。

【図 11】本発明に係る分類処理手順を具体的に示すフローチャート図である。

【図 12】分類対象欠陥画像に対して分類カテゴリを付与する際、特徴量ベクトル空間における分類対象点の近傍に存在する教示点の教示用欠陥画像をモニタの画面に出力して表示した図である。

【図 13】本発明に係る分類処理手順を実行するためのモニタ画面を示す図である。

【図 14】本発明に係るラスタ走査によって得られる濃淡値の教示用欠陥画像を示す図である。

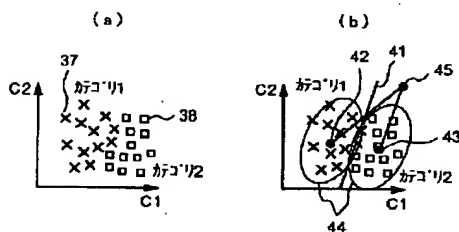
【図 15】本発明に係る特徴量ベクトル空間の第 2 の実施例における固有ベクトル空間における教示点を示す図である。

【符号の説明】

1…プローブ検査工程、2…外観検査装置、3…欠陥分類装置、4…外観検査結果、5…分類対象欠陥画像、6…不良モード別の発生頻度を示す画面、7…品質管理システム、8a、8b…基板、27…分類パラメータ（教示用データ）、28…基板搬送装置、29…光学系、30…分類データ、31…ステージ、32…撮像装置、33…画像入力装置、34…画像記録装置（画像記憶装置）、35…画像処理装置、36…ステージ制御部、37…基板搬送制御部、38…モニタ、40…ホストコンピュータ、41…入力手段、42…ネットワーク、43…記憶装置、45…入力欠陥画像を表示する表示領域、47…入力カテゴリを表示するカラム、52…欠陥画像詳細情報欄、57…近傍既入力欠陥画像を表示する表示領域、58…カラム、59…ボタン、62…カテゴリー一覧表示ボタン、66…分類未知欠陥画像等の表示領域、67…教示用欠陥画像等の表示領域、73…カテゴリ入力カラム、74…欠陥画像詳細情報欄、75…カテゴリ表示カラム。

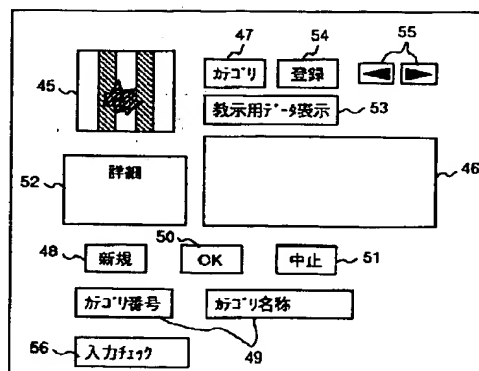
【図 5】

図 5



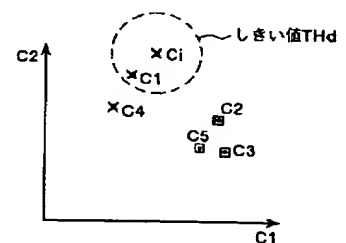
【図 7】

図 7



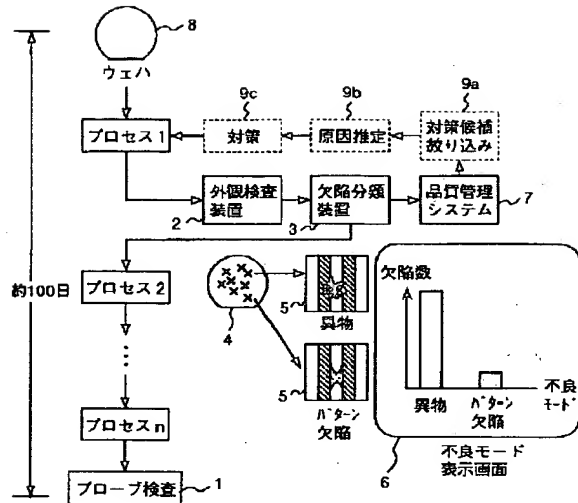
【図 10】

図 10



【図1】

図 1

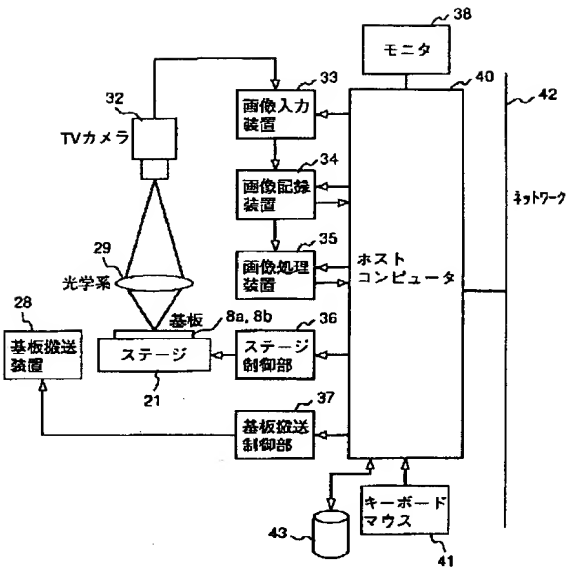


【図3】

図 3

【図2】

図 2

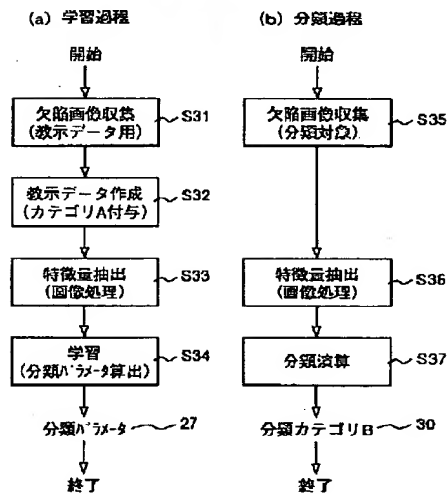


【図4】

図 4

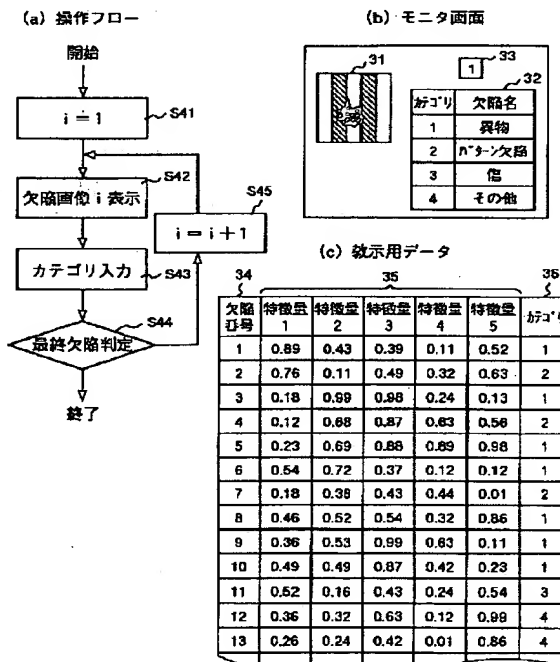
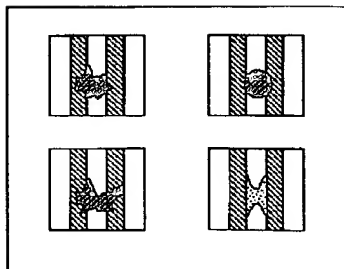
【図14】

図 14



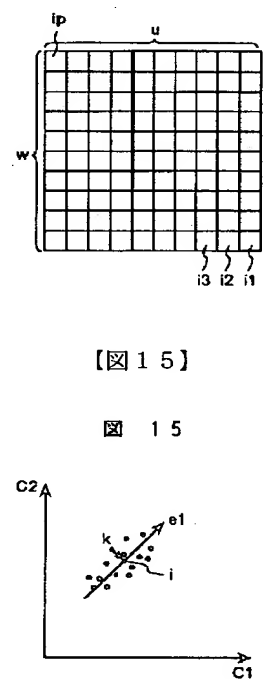
【図12】

図 12



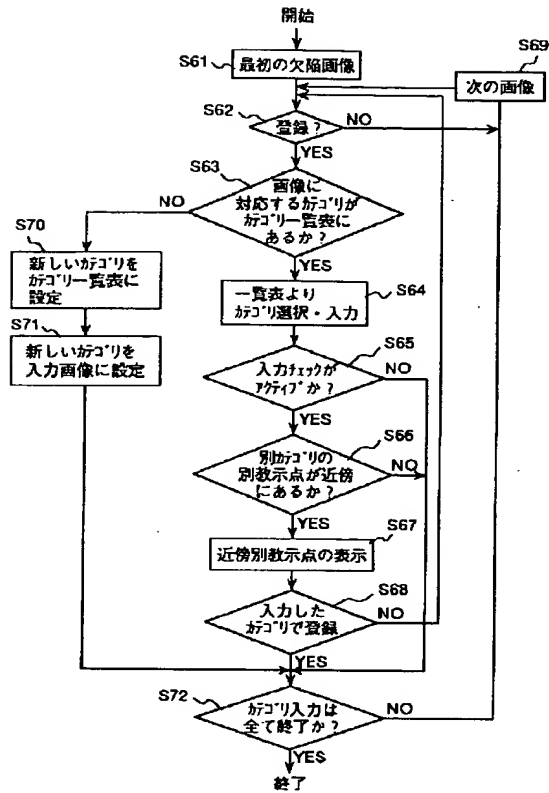
【図15】

図 15



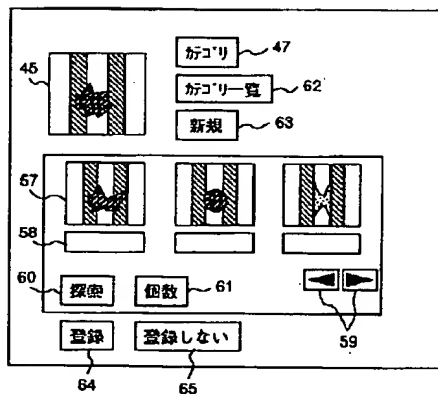
【図6】

図 6




【図9】

図 9



【図8】

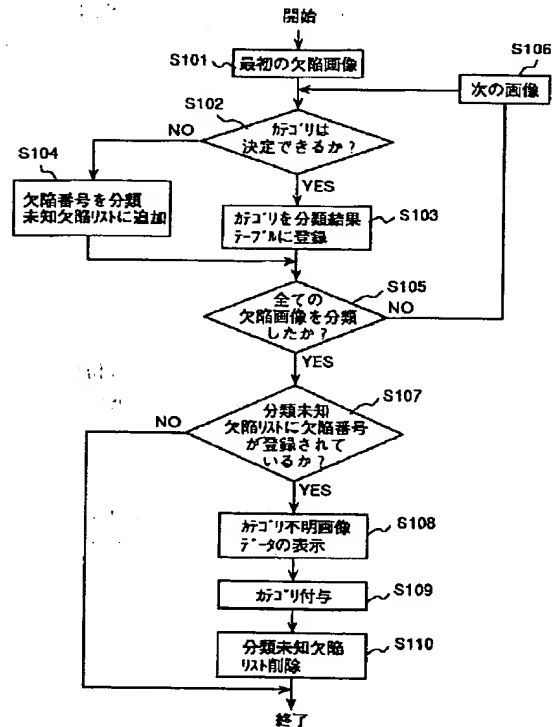
図 8

34 データ番号	36 カテゴリ	31 画像	35 特徴量1	...	特徴量m
1	3		**	...	**

27

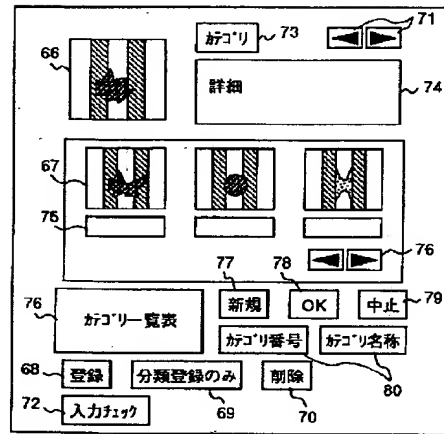
【図11】

図 11



【図13】

図 13



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 F 15/70

4 6 5 A

F ターム (参考) 2G051 AA51 AB02 ED08 ED21
 4M106 AA01 CA39 CA41 CA70 DH01
 DH12 DJ11 DJ19 DJ20 DJ21
 DJ23 DJ38
 5B057 AA03 BA02 CA01 CA08 CA12
 CC01 DA03 DB02 DB06 DB09
 DC02 DC06 DC22 DC25 DC33
 DC36 DC40
 5L096 AA02 BA03 CA02 FA66 GA51
 KA04